

# FAO 模式下城轨信号系统典型故障分析及应急处置策略研究

曹云秋

通号城市轨道交通技术有限公司 陕西 西安 710016

**摘 要:**全自动运行模式下城轨信号系统承担线路行车的核心控制工作,系统结构层次繁杂,硬件损耗、环境干扰、链路扰动以及多设备交互偏差均会诱发各类运行异常。本文结合 FAO 模式信号系统业务构成、链路运行要求、模块交互逻辑以及现实运行约束,剖析故障多维度诱发来源,梳理设备状态采集、数据流归集、故障特征提取、影响范围划分的识别思路,构建故障响应、分场景处置、车地协同作业、系统复位回归的实施路径,助力全自动城轨线路提升故障应对能力,保障行车过程的安全稳定。

**关键词:**FAO 模式;城轨信号系统;故障诱因;故障识别;应急处置

**引言:**全自动运行体系下,城轨信号系统独立完成列车远程唤醒、自动出库、区间调速、进站对位、终点站折返以及收车休眠等一系列作业。信号链路要抵御隧道、高架不同场景带来的电磁干扰,各功能模块依照安全校验规则完成信息交互。线路硬件会承受振动、温湿度变化、外部异物侵扰,传输过程也会出现报文畸变、链路波动,设备交互时序错位同样会扰乱控制流程。厘清各类故障形成过程,落实故障识别手段,规范现场处置操作,能够减少设备异常对线路运营造成的冲击。

## 1 FAO 模式下城轨信号系统运行的现实特征

### 1.1 FAO 模式信号系统的业务运行构成

全自动运行模式中,城轨信号系统承担整条线路绝大部分行车处置工作。每日运营开始阶段,系统直接触发列车远程唤醒,驱动车载设备开展整机自检,确认各项状态达标后完成列车自动出库<sup>[1]</sup>。列车在线路区间行进过程中,持续计算运行速度,动态调整跟车距离,进站阶段完成对位停车。到达终点站后自动执行折返流程,切换行车方向继续投入载客。运营结束时段,调度指令经由信号下发,引导列车返回车辆段,完成断电休眠。线路出现设备异常或者行车扰动,系统直接触发对应降级处置,维持线路基础通行能力,整套业务流程贯穿列车上线运营到收车回库全部过程。

### 1.2 FAO 运行模式对信号链路提出的运行要求

信号链路承担行车控制指令、列车位置上报、设备

状态回传多类数据流。数据传输产生的时延必须压缩到很低水平,指令传递出现滞后会直接放大行车冲突隐患。地下隧道、露天高架区段电磁环境差异明显,链路要具备抗干扰能力,削弱外部电磁带来的数据畸变风险。收发两端完成数据校验,识别丢弃失真报文。单条通路发生卡顿或者中断,备用通路立刻接管数据转发,关键行车控制指令不能出现中断,以此匹配全自动行车的控制标准。

### 1.3 信号系统内部模块之间的交互逻辑

车载单元持续采集列车速度、实际位置,把实测信息发送至地面控制单元。地面单元结合轨道占用情况,向车载单元下发速度限制、运行许可。区域控制单元管辖对应线路区段,和邻近区段控制单元交换边界行车信息,理顺跨区段列车通行次序。联锁单元采集道岔、信号机的现场状态,只有安全条件全部达成,才输出通行授权。各类模块不会直接执行外来请求,先做安全条件核验,核验不通过就拒绝执行,依靠这套流程完成整套控制动作。

### 1.4 FAO 场景下信号系统运行的客观约束

线路闭塞分区物理划分,划定列车能够实现的最小行车间隔。板卡、通信硬件本身存在性能上限,数据处理规模不能超出硬件承载边界。露天布设的轨旁设备直面高温、降雨等外界环境,恶劣天气会改变设备工作状态。行业安全准则划定运行底线,设备发生故障时优先导向安全侧。列车制动性能、线路曲线半径、坡度形成物理边界,信号系统输出的控制指令,不能脱离线路与车辆本身固有参数。

## 2 FAO 模式城轨信号系统故障的诱发来源

### 2.1 车载信号单元运行层面的故障诱因

车载信号单元随列车持续运动, 工作环境复杂多变。列车频繁加减速、通过轨缝与道岔时产生的高频振动, 会慢慢松动内部板卡与接口连接, 造成接触不良<sup>[2]</sup>。车载控制器长时间高负荷运转, 散热空间有限, 热量堆积会降低运算稳定性, 出现程序卡死。速度传感器、多普勒雷达、位置查询器靠近轨面工作, 灰尘、油污、水渍容易附着在探测端, 导致采集数据偏离真实值。车载安全计算机承载核心控制逻辑, 软件运行异常、内部模块冲突, 都会中断控制指令输出。车辆供电系统出现电压波动, 也会直接影响单元正常工作, 引发设备重启或关键指令丢失。

### 2.2 地面轨旁信号设备带来的故障触发条件

轨旁设备沿线路露天布设, 长期承受外界环境影响。道岔转辙机承担列车转线任务, 机械部件磨损、异物卡滞, 会造成转辙不到位或锁闭失效。信号机显示单元长期工作, 光源亮度衰减, 无法准确传递行车许可。地面应答器固定在轨枕中间, 反复承受列车震动, 内部芯片与存储信息易出现损坏或丢失。区域控制器集中管理线路行车, 外部接口受潮氧化, 会造成通信中断, 形成局部控制盲区。设备机柜密封不足, 阴雨天气湿气进入内部, 凝结积水腐蚀电路, 引发接地异常或短路故障。

### 2.3 车地双向数据传输链路的扰动因素

车地通信依靠无线链路完成, 易受线路环境影响。隧道内空间封闭, 无线信号多径反射严重, 部分区段覆盖强度不足, 造成通信质量下降。高架路段靠近外部电磁源, 干扰信号会混入传输通道, 导致数据报文出现误码。无线接入设备长时间满负荷运行, 处理能力达到上限, 数据转发速度明显变慢。沿轨道敷设的漏泄电缆出现弯折、破损或接头松动, 传输效率大幅降低。列车在不同接入节点之间切换时, 链路会出现短暂中断, 造成行车信息断档, 影响控制连续性。

### 2.4 多设备联动交互过程产生的故障隐患

FAO 系统依靠多设备协同完成控制。车载设备与地面设备交换行车信息, 时序安排错乱会引发指令执行冲突。相邻区域控制器在边界交接列车控制权, 判定逻辑偏差会造成权限重叠或缺失。联锁设备与列控设备传递轨道占用状态, 数据格式不统一会导致指令无法正常解析。不同层级设备响应速度存在差异, 会形成控制滞后, 破坏运行节奏。权限校验环节出现疏漏, 非安全指令可能进入执行环节。交互接口协议兼容不足, 会让整

条控制链条出现断点, 直接引发系统功能异常。

## 3 FAO 模式下城轨信号系统故障的识别采集思路

### 3.1 信号设备运行状态信息的采集方向

采集工作聚焦设备核心运行参数, 覆盖车载、轨旁、中央全节点。车载单元重点抓取控制器工作电流、通信模块信号强度、制动系统反馈值。轨旁设备盯紧道岔动作力矩、轨道电路传输电压、信号机点灯电流。中央层持续记录服务器负载率、交换机端口速率、指令下发成功率。采集覆盖设备启停时刻、动作响应时长、异常报警码<sup>[3]</sup>。每一项数据直接对应设备物理状态, 为故障判断提供原始依据。采集颗粒度随运行场景调整, 高峰时段加密采样频率, 保障异常信息不遗漏。

### 3.2 多维度运行数据流的归集处理方式

现场采集的数据分散在不同终端, 需按层级完成归集。车载数据先在本地缓存, 再通过无线通道上传至区域处理单元。轨旁设备数据经由有线链路直接汇入区域节点。中央平台接收各区域汇总信息, 形成全线数据池。处理环节先剔除无效杂波, 保留有效运行特征。按时间戳完成数据对齐, 保证不同来源信息时序一致。通过分级存储实现数据分流, 实时数据支撑即时判断, 历史数据用于回溯分析。处理过程不改变原始数据属性, 保留故障发生时的完整状态。采用分层归集、分级处理的模式, 可有效规避数据混乱、时序错位问题, 提升数据流处理的规范性与精准性。

### 3.3 不同故障类型对应的特征提取路径

通信故障提取传输丢包率、链路重连次数、信号衰减幅度。数值持续偏离正常区间, 可判定链路异常。设备硬件故障锁定动作偏差值、温度突变曲线、绝缘电阻变化。参数突破阈值, 直接指向硬件损伤。软件逻辑故障抓取指令未响应次数、程序退出记录、数据校验错误。流程节点中断对应软件运行失效。行车许可故障提取路径占用判断结果、限速指令下发状态、安全距离计算值。每一类故障对应固定特征组合, 提取路径清晰指向问题根源。通过差异化、针对性的特征提取方式, 可快速剥离无效数据, 精准锁定各类故障的核心特征, 缩短故障识别研判时长。

### 3.4 故障发生之后故障覆盖范围的区分逻辑

先判断故障点物理位置, 区分车载单列车、单区段轨旁、中央全站域。车载设备异常仅影响本列车运行, 覆盖范围限定单车。轨旁设备故障关联对应区段, 影响途经该区域的所有列车。中央模块故障波及全线, 覆盖范围扩展至整体运营线路。再结合故障影响层级, 区分

独立设备故障、子系统故障、整体系统故障。独立设备故障范围最小，子系统故障扩展至关联设备组。系统级故障触发全域防护机制。通过节点关联关系逐级判定，精准圈定影响边界。层级化、分区化的判定逻辑可精准界定故障影响规模，为后续分级、分场景开展应急处置提供精准依据。

#### 4 FAO 模式城轨信号系统故障的应急处置实施路径

##### 4.1 故障发生之后的现场处置响应逻辑

故障信号由前端设备自主上报，控制中心告警界面实时弹出点位信息。值班人员通过后台调取对应区段实时状态，确认故障发生位置与影响范围。系统按照预设规则完成等级划分，危及行车安全的故障排在处置序列前端。现场信号设备保持故障前安全姿态，不得擅自变更进路与信号显示<sup>[4]</sup>。控制中心启动处置流程前，先完成轨道占用、道岔位置、信号状态三重核对。确认现场条件满足操作底线，再向设备端下发处置指令。所有响应动作按时间顺序留存记录，关键步骤必须经过人工确认。设备端收到指令后先做安全校验，不满足条件则拒绝执行，确保处置动作不引发次生风险。遵循“先核查、后处置、保安全、留痕迹”的响应原则，构建标准化处置流程，最大限度规避应急操作中的安全隐患。

##### 4.2 不同故障场景下信号系统处置执行方式

车载单元出现运算异常，系统自动切向冗余控制通道。切换完成后列车保持平稳运行，就近选择站点停靠等待进一步确认。车地通信出现中断，车载执行紧急制动。地面轨旁设备发生故障，联锁系统立即关闭关联进路，停止向该区段发送行车许可。道岔出现四开或位置无表示异常，系统锁定当前状态，关闭关联进路，调整后续列车运行路径。无线通信质量下降，系统降低列车运行速度，延长控制周期，保证指令有效送达。数据报文出现失真或校验失败，系统自动丢弃无效信息，沿用前一周期有效指令。跨设备交互异常时，系统拆分联动逻辑，缩小控制范围，阻止故障影响沿线路扩散。

##### 4.3 车地设备协同开展故障处置的运作模式

地面控制单元向车载发送故障处置约束条件，明确允许运行的速度与区间。车载收到信息后，实时回传自身位置、制动状态、设备可用情况。地面依据列车上报数据，规划临时安全进路，调整轨旁信号机显示与道岔开通方向。列车按照限定条件行驶，不突破允许范围，不自主切换控制模式。地面持续追踪列车运行轨迹，与计划路径出现偏

差时及时下发修正指令。列车进入相邻区段，原管辖单元向目标单元完成数据与权限交接，确保控制不中断。故障未彻底清除前，车地之间保持指令应答机制，每一步操作均需双方确认。协同过程以建立稳定安全通道为目标，不执行复杂切换，不叠加多重操作。通过车地双向实时交互、联动校验，形成高效协同处置体系，保障故障工况下列车运行的连续性与安全性。

##### 4.4 故障处置完成之后系统回归运行状态的操作逻辑

故障设备完成修复或更换后，先在本地完成独立自检，各项指标回到正常区间再上报恢复请求。控制中心收到申请后，检查对应区段是否空闲，确认无占用、无锁闭、无保留指令，再下发恢复许可。设备重新接入网络，完成时间同步与状态校准，上传完整运行参数。系统分步开放控制权限，先恢复基础行车监控，再逐步加载全自动运行逻辑。列车执行一次站内精确停车、平稳启动校验，确认制动、牵引、车门控制均正常。各项运行数据稳定在标准范围内，系统解除临时限速与区段限制。轨旁设备恢复常规显示模式，通信链路回到标准配置。全线设备状态一致，控制流程顺畅，系统正式回归全自动运行序列。采用分层校验、分步复位的回归模式，避免一次性全量恢复引发的系统适配异常，保障线路平稳恢复常态化运营。

#### 结束语

车载、轨旁、传输链路与多设备交互环节都会催生信号系统故障，多维度的状态采集手段可以精准定位故障源头，划定故障实际波及边界。匹配不同故障场景的处置动作，依托车地设备之间的信息交互完成故障消解，再经由分层校验逐步完成系统功能复原。严格落实故障处置各环节的操作规范，压缩故障处置耗时，降低异常工况带来的运营扰动，维持全自动运行线路持续可靠的行车条件。

#### 参考文献

- [1] 蒋荣. 基于数字孪生的城轨信号系统故障预测与健康管理 [J]. 张江科技评论, 2025(4): 38-40.
- [2] 李梅, 刘晓. 城轨信号系统电子设备故障预警与管理研究 [J]. 铁道通信信号, 2024, 60(1): 80-86.
- [3] 何泽灵. 城市轨道交通信号系统故障成因分析与智能化运维对策研究 [J]. 人民公交, 2025(22): 149-151.
- [4] 冯颖. 城市轨道交通信号智能运维系统的应用研究 [J]. 运输经理世界, 2025(34): 1-3.